

Recenzja spełnia wymagania formalne

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Ładowa i Transport

dr hab. inż. Marcin Stańiek, prof. PŚ

Warszawa, dn. 28.11.2021 r.

prof. dr hab. inż. Tomasz Chmielewski
Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa
www.mt.pw.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
pt.:

„Zmniejszenie zużycia zaworów wydechowych w silnikach spalinowych
zasilanych paliwami CNG/LNG z wykorzystaniem faz
międzymetalicznych Fe-Al”

Autor: mgr inż. Piotr Cybulko

Promotor: dr hab. inż. Bożena Szczucka-Lasota, prof. PŚ
Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Garbala

Opracowano na zlecenie
Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Inżynieria Ładowa i Transport
Politechniki Śląskiej
Pana dr. hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ
z dnia 05.11.2021 r.

1. Uwagi ogólne

Recenzowana praca dotyczy nowoczesnego nurtu naukowego modyfikacji powierzchni z wykorzystaniem napawania łukowego metodą TIG (Tungsten Inert Gas) powłoki ochronnej ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Fe₃Al zastosowanej w celu podwyższenia odporności na zużycie przylgni zaworu wydechowego silnika spalinowego zasilanego paliwem CNG. Praca ma charakter

interdyscyplinarny. Głównym przedmiotem zainteresowania doktoranta było opracowanie warunków napawania eksperymentalnym materiałem powłokowym, scharakteryzowanie napoiny oraz określenie jej trwałości eksploatacyjnej w porównaniu do alternatywnego rozwiązania handlowego opartego na napawaniu Stellitu 6.

Praca liczy 176 stron z spisem treści, spisem tablic i rysunków, załącznikami, spisem literatury oraz streszczeniem w języku polskim i angielskim. Rozprawa składa się z 13 rozdziałów, powiązanych merytorycznie. Zachowano właściwe proporcje pomiędzy zasadniczymi elementami opracowania, które tworzą klasyczny układ dysertacji. Tytuł pracy nawiązuje do jej treści.

Bibliografia obejmuje 125 pozycji literaturowych, w tym dwa współautorskie artykuły naukowe Doktoranta oraz wystąpienie konferencyjne. Cytowane źródła literaturowe są w większości starsze niż 10 lat, różnorodne i adekwatne do tematyki rozprawy. Spis obejmuje normy, patenty, artykuły z czasopism naukowych, materiały konferencyjne i opracowania książkowe ze światowego obiegu literatury.

2. Ocena ważności podjętego problemu naukowego

W pracy podjęto problem modyfikacji przylgni zaworów wydechowych silników spalinyowych zasilanych CNG w kontekście eksploatacyjnych problemów wynikający z zastosowania paliwa w postaci gazowej. Ograniczona trwałość zaworów wydechowych jest ściśle powiązana z wysoką temperaturą spalania CNG i w konsekwencji powoduje przyspieszone zużycie przylgni i innych części bezpośrednio uczestniczących w zamianie energii cieplnej na mechaniczną. CNG jako paliwo stosowane w transporcie samochodowym jest perspektywiczne w kontekście ochrony nadwyreżonego środowiska naturalnego. Obecnie stosowanym rozwiązaniem jest napawanie łukowe Stellitu 6, które polepsza sytuację w stosunku do części wykonanych ze stali zaworowej, jednak nie jest w pełni satysfakcjonujące. Wybór stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Fe_3Al , który kojarzony jest z doskonałą odpornością na utlenianie, nawęglanie, dobrą odpornością korozyjną,

częstotliwości regulacji luzu zaworowego". W rozdziale XI przedstawiono wyniki badań tribologicznych, metalograficznych, makro i mikrostrukturalnych (LM, SEM), wykonano rozkłady twardości w napoinach. Podsumowano wyniki badań laboratoryjnych. Rozdział XII opisuje koncepcję i przebieg badań walidacyjnych, w tym przedmiot badań w postaci napawanych zaworów stopem na osnowie Fe₃Al oraz konkurencyjnym Stellite 6. Opisano eksperyment na hamowni ukierunkowany na ocenę wpływu materiału napoiny na trwałość luzu zaworowego. W rozdziale XIII przedstawiono i podsumowano wyniki badań.

4. Ocena merytoryczna

Po wnikliwym zapoznaniu się z treścią rozprawy stwierdzam, że analiza stanu zagadnienia, plan badań, metodyka, realizacja badań, dobór aparatury naukowo-badawczej oraz opracowanie wyników, prezentują dobry poziom merytoryczny.

Za największe, oryginalne osiągnięcia naukowe Doktoranta uważam, opracowanie warunków technologicznych napawania przylgni zaworów wydechowych, scharakteryzowanie ich podstawowych właściwości materiałowych i przeprowadzenie eksperymentu na rzeczywistym silniku spalinowym z wykorzystaniem hamowni. Opracowane warunki modyfikacji powierzchni zostały pozytywnie zweryfikowane praktycznie w warunkach zbliżonych do eksploatacyjnych.

O innowacyjności wymienionego osiągnięcia naukowego świadczy także złożenie patentu dotyczącego autorskiej metody nanoszenia powłoki modyfikacyjnej na powierzchnie przylgni zaworowych. Poprawnej wartość technologicznej opracowania dowodzi uzyskanie certyfikatu WPQR (Welding Procedure Qualification Record).

wysoką odpornością na zużycie ścierne, erozyjne i kawitacyjne. Zaproponowany materiał jednocześnie bazuje na stosunkowo tanich pierwiastkach jak żelazo i aluminium.

Z powyższych względów wybór tematyki uważam za uzasadniony i dobrze ulokowany nie tylko w aktualnym obszarze użytkowym, ale i perspektywnym obszarze badawczym.

3. Ogólna ocena rozprawy

We wprowadzeniu do rozprawy Autor w zwięzły sposób przedstawił problematykę poruszanego zagadnienia i plan badań.

W rozdziale II i II Autor szeroko opisał gaz ziemny jako paliwo i szeroko scharakteryzował jego właściwości. W zasadzie ten materiał powinien być umieszczony w jednym, wspólnym rozdziale. Rozdział IV poświęcono klasyfikacji pojazdów zasilanych CNG oraz omówiono warunki modyfikacji silników spalinowych podczas ich dostosowywania do pracy na paliwie CNG. W rozdziale V opisano warunki eksploatacji zaworów silników spalinowych regulujących przepływ czynnika przez komorę spalania, przedstawiono również przykłady zużycia i metody modyfikacji roboczych powierzchni przylgowych. Rozdział VI poświęcono na scharakteryzowanie faz międzymetalicznych w szczególności stopu na podstawie fazy Fe_3Al . W rozdziale VII podsumowano przegląd literatury. W rozdziale VIII przedstawiono cel pracy jako „opracowanie metody zabezpieczenia przylgni zaworu wydechowego w silniku ZS adaptowanym do zasilania gazem ziemnym”. Przebieg badań wstępnych opisano w rozdziale IX przybliżono warunki wykonania materiału powłokowego stosowanego do napawania, opisano proces napawania i wyniki oceny wizualnej i radiograficznej napoin. W rozdziale X opisano metodykę badań i postawiono odważną tezę pracy „zastosowanie fazy międzymetalicznej Fe_3Al do napawania powierzchni przylgni zaworowych silników w środkach transportu, adaptowanych do zasilania paliwem CNG/LNG, wpłynie na zwiększenie trwałości jednostki napędowej w warunkach eksploatacji i pozwoli na zmniejszenie

strukturalnym jest faza międzymetaliczna Fe_3Al i może stanowić podstawę stopu, jednak nie potwierdzono tego.

6. Predykcję trwałości napoiny intermetalicznej i jej przewagę wobec alternatywnego stopu Stellite 6 oparto na pośrednim wyniku rozlegulowania luzu zaworowego, którego pomiar za pomocą szczelinomierza jest oparty na subiektywnej ocenie dopasowania listka szczelinomierza i może być obarczony dużymi błędami.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wyszczególnione naukowe i użyteczne osiągnięcia Doktoranta częściowo neutralizują wykazane przeze mnie usterki opracowania.

Uważam, że recenzowana rozprawa prezentuje dobry poziom merytoryczny, zawiera elementy nowości i oryginalności oraz wnosi wkład w rozwój procesów modyfikacji powierzchni części maszyn stosowanych w budowie silników spalinowych zasilanych CNG.

Ponadto stwierdzam, że Autor wykazał się wystarczającą wiedzą, umiejętnością planowania i realizacji badań naukowych, umiejętnością oceny uzyskanych wyników, co świadczy o predyspozycjach do realizacji prac badawczych.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska opracowana przez Pana mgr. inż. Piotra Cybulko pt. „Zmniejszenie zużycia zaworów wydechowych w silnikach spalinowych zasilanych paliwami CNG/LNG z wykorzystaniem faz międzymetalicznych Fe-Al” spełnia w stopniu dobrym wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa i może być dopuszczona do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

4. Uwagi do pracy

Generalnie, praca napisana jest na dobrym poziomie z zastosowaniem właściwej terminologii, jednak Autor nie uniknął błędów redakcyjnych i językowych, konstrukcji zdań trudnych do zrozumienia, nieuzasadnionych powtórzeń, sprzeczności oraz niejasności, np.:

- wymienne stosowanie określeń metoda i technologia,
- zbędne wyodrębnienie podrozdziału 6.1
- jako właściwe natężenia prądu napawania Doktorant podaje w różnych miejscach pracy trzy różne wartości 60-70, 62 i 66 A.
- cyt. „Teoretycznie technologia może być praktycznie stosowana ...” str. 47
- cyt. „przyłgnie zaworów napawane wybranymi przekrojami spoiwa” str. 67
- brakuje jasnego sformułowania co Doktorant uważa za badania walidacyjne.

Wskazane usterki to tylko część niedoskonałości redakcyjnych, co sprawia wrażenie braku należytej korekty autorskiej przed wydrukowaniem pracy. Można mieć zastrzeżenia do stylu pisania pracy i poziomu edycji opracowania.

Poniżej wymieniono uwagi o charakterze dyskusyjnym z prośbą do Autora rozprawy o ustosunkowanie się:

1. Nie scharakteryzowano materiału przeznaczonego do wykonania prętów do napawania, co wydaje się krytyczne?
2. Z opisu na str. 66 wynika, że proces napawania był zrealizowany ręcznie, co oznacza, że nie możliwe powtarzalne odtworzenie eksperymentu, a uzyskane wyniki mogą być statystycznie niewiarygodne (przypadkowe).
3. Z jakiego powodu zastosowano stal S235JR jako przeciw próbkę w parze tribologicznej dla Stellite i „miedzymetalicznej” napoi, a nie zastosowano materiału, z którego wykonuje się gniazda zaworowe?
4. Nie wykonano analizy stopnia wymieszania napoi z podłożem.
5. Wyniki badań mikrostrukturalnych wskazują na wielofazową strukturę, z analizy składu chemicznego można założyć, że dominującym składnikiem